Conversas em torno da Terra

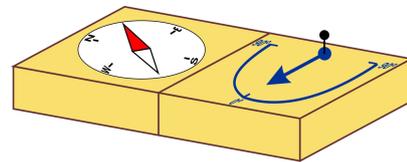
Todas as Ciências são estruturadas e evoluem essencialmente em torno de conceitos que, pela sua simplicidade, parecem óbvios. No entanto, frequentemente temos verificado que existe alguma confusão sobre estes conceitos. Com efeito, por parecerem tão óbvios, muitas vezes acabam por ser explicados de uma forma mais superficial, o que lhes retira a clareza.
Além disso, o que parecia óbvio, muitas vezes vai revelando uma complexidade não prevista; quantas vezes depois da explicação de um conceito tantas vezes repetido, uma dúvida de um aluno, ou até a utilização de uma frase ligeiramente diferente revela uma maior riqueza dos conceitos ligados às Ciências da Terra...

Conversas em torno da Terra é uma coleção de textos sobre os processos naturais que ocorrem no nosso planeta; escritos ao sabor das circunstâncias pretendem abordar o que... é óbvio... Embora tenhamos já planeado uma série de temas das próximas conversas estamos disponíveis para, na medida do possível, abordar temas que nos venham a ser sugeridos.
Apesar da sua simplicidade, estes pequenos textos talvez possam vir a ajudar a compreender melhor a maravilhosa diversidade da Natureza, contribuindo para desfazer alguns mal-entendidos e até erros que por vezes surgem em alguns manuais escolares.

Se pretender outro material didático, incluindo as imagens deste documento com maior resolução, visite a página do Centro Ciência Viva de Estremoz em:
www.ccvestremoz.uevora.pt → opção Escolas → Materiais de Apoio

Centro Ciência Viva de Estremoz
Novembro de 2016

cofinanciamento

PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DA GEOLOGIA; PERFEITAMENTE ACTUAIS 3 SÉCULOS DEPOIS

Os princípios fundamentais da geologia são um dos temas que aparecem na generalidade dos livros desta disciplina. Pela sua simplicidade eles podem parecer simples regras de bom senso que apenas têm um interesse histórico, reflectindo essencialmente o desconhecimento que na altura em que foram enunciados se tinha dos processos geológicos.

No entanto, os seus enunciados permanecem totalmente válidos, continuando a ser fundamentais em qualquer estudo geológico, quer se trate da interpretação de simples afloramentos de campo ou de mapas geológicos. Com efeito, a aplicação destes princípios é essencial para o estabelecimento das datações relativas, não só entre as rochas, mas também das suas relações com outras estruturas geológicas (e.g. filões, falhas ou dobras). A sua aplicação generalizada contribuiu para o estabelecimento de uma nova área de saber dentro da geologia, **a estratigrafia**, que permite o estabelecimento de uma cronologia dos processos geológicos tornando possível a interpretação da evolução geodinâmica de qualquer região.

// NICOLAUS STENO (1638-1686); O PERCURSOR

Niels Steensen nasceu em Copenhaga mas com a idade de 22 anos abandonou para sempre a Dinamarca para aprofundar os seus estudos.

Viajou então pela Holanda e França tendo acabado por se fixar em Itália, razão pela qual é essencialmente conhecido por Nicolaus Steno, a versão latinizada do seu nome.

Ao estudar a cabeça de um enorme tubarão pescado nos mares de Itália, Steno apercebeu-se que os seus dentes eram idênticos a "estruturas" que apareciam por vezes nas rochas e cuja origem era bastante controversa. Embora não tenha sido o primeiro a considerar que estas estruturas seriam dentes de antigos tubarões, que teriam morrido e ficado enterrados em lamas e areias que entretanto secaram

Fig. 1 - Alguns conceitos relacionados com os princípios fundamentais da geologia enunciados por Nicolaus Steno:
A - Individualização de leitos subhorizontais por assentamento gravítico diferencial num copo de café com leite;
B - Leitos piroclásticos inclinados nas encostas de um vulcão em Lanzarote (Espanha);
C - Aplicação do principio da sobreposição em regiões não deformadas (C_1) e situações de excepção induzidas pela deformação (C_2 e C_3);
D - Princípio da sobreposição em sequências de *graffiti*;
E - Exemplo de relações de intersecção num corte geológico.

cofinanciamento

transformando-se em rochas (o que actualmente designamos por **fósseis**), a tentativa de compreensão deste processo levou-o a enunciar quatro princípios (fig. 1) que foram fundamentais no desenvolvimento da geologia moderna.

Princípio da horizontalidade original

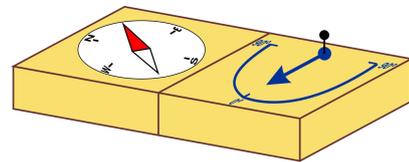
Ao assumir que as rochas sedimentares derivam de materiais que estiveram anteriormente em suspensão num fluido, concluiu que a sedimentação destas partículas teria originado camadas de rochas horizontais e de espessura constante, pois a queda de cada partícula ocorria segundo a vertical devido à acção da gravidade e as partículas estavam uniformemente distribuídas no fluido. É um processo semelhante ao que ocorre quando diversos líquidos ou partículas sólidas finas em suspensão homogénea num líquido em repouso assentam graviticamente (fig. 1A). Por isso, sempre que as camadas aparecem inclinadas, isto implica que algo as deformou posteriormente à sua deposição alterando a sua geometria inicial..

A aplicação deste princípio é directa na generalidade das rochas sedimentares estratificadas, mas deve ser feita com cuidado no caso de leitos de materiais piroclásticos, que também ocorrem normalmente sob a forma de estratos bem definidos. Com efeito, embora estes materiais também tenham sido depositados por um processo de queda gravítica após terem sido expelidos durante as explosões vulcânicas (um processo com algumas semelhanças com a sedimentação associada às rochas sedimentares, embora essa ocorra normalmente em meio aquático), a sua elevada temperatura e viscosidade permite-lhes que ao atingiram o solo se "colem" aos materiais depositados previamente, tendendo por isso a manter a forma dos relevos subjacentes. Deste modo, os leitos piroclásticos podem apresentar-se inclinados desde a sua deposição (fig. 1B), um aspecto que é particularmente evidente nas encostas dos vulcões e que é essencial para a génese dos cones vulcânicos.

Princípio da continuidade lateral

A extrapolação dos processos responsáveis pelo princípio da horizontalidade, facilmente conduz à formulação do segundo princípio, que estabelece que as camadas de rochas estendem-se lateralmente em todas as direcções apresentando uma continuidade notável, que faz com que as camadas possam ser consideradas corpos essencialmente bidimensionais; a sua espessura é negligenciável em relação à sua extensão lateral.

A aplicação deste princípio necessita de ser feita com alguns cuidados. Em primeiro lugar, porque ocorrem frequentemente variações laterais de fácies induzidas, por exemplo, pela maior ou menor distância à fonte geradora dos sedimentos. Por exemplo, no caso dos sedimentos detríticos deposita-

cofinanciamento

dos nas plataformas marinhas, as camadas junto ao litoral tendem a ser constituídas por sedimentos de grão mais grosseiros e, à medida que a distância à linha de costa aumenta o grão tende a diminuir; deste modo lateralmente podemos passar ao longo da mesma camada de arenitos a siltes.

Um outro aspecto que torna necessário alguma cautela na aplicação deste princípio, e que se a sua utilização é relativamente directa no caso dos sedimentos marinhos (devido à extensão das bacias de sedimentação, torna-se bastante complexa nos sedimentos continentais caracterizados por uma grande variabilidade lateral induzida, por exemplo, pela ocorrência frequente de paleocanais.

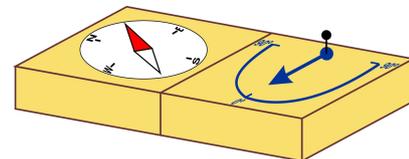
Princípio da sobreposição estratos

Sendo as camadas formadas pela adição gravítica de material que caía de cima, tornava-se evidente que, se a ordem das camadas não tivesse sido alterada por perturbações posteriores à sua deposição, as camadas que estavam por baixo seriam as mais antigas e as que estavam por cima seriam mais recentes. A aplicação deste princípio é imediata quando se estudam sequências de rochas estratificadas pouco deformadas (fig. 1C1), mas deve ser feita com muito cuidado em zonas intensamente deformadas, pois aí as relações geométricas originais foram alteradas, podendo ocorrer inversões de polaridade devido a dobramento (fig. 1C2), ou sobreposições anómalas (fig. 1C3): em ambos as situações camadas mais antigas podem estar sobrepostas a camadas mais recentes.

A aplicação do princípio da sobreposição é extremamente intuitiva podendo ser utilizada no dia-a-dia para interpretar, por exemplo, a ordem da execução de graffiti numa parede (fig.1D).

Princípio das relações de corte

Os princípios anteriores aplicam-se essencialmente a sequências de rochas estratificadas, tanto sedimentares como metamórficas (ou até, nalguns casos vulcânicas), pois o importante é a deposição dos leitos ter sido condicionada pelo campo gravítico terrestre. Tratam-se por isso de princípios que se baseiam essencialmente nas condições genéticas dos processos de formação dos próprios leitos.

O último princípio enunciado por Steno, o das relações de corte também denominado princípio da intersecção, é de aplicação bastante mais generalizada, podendo ser aplicado não só aos vários tipos de rochas (sedimentares, ígneas ou metamórficas), mas também a qualquer estrutura geológica (e.g. dobras e falhas). Mais uma vez se trata de um princípio que parece alicerçado no bom senso mas que, tem sido uma das ferramentas básicas utilizadas pelos geocientistas há mais de 3 séculos. Este princípio estabelece muito simplesmente que quando vários corpos rochosos e/ou

estruturas geológicas se cortam, os mais antigos são aqueles que estão intersectados pelos outros. No exemplo da figura 1E, a aplicação do princípio da intersecção permite concluir que a sucessão dos episódios que afectaram a região foi:

1º - Deposição das camadas da série inferior obedecendo ao princípio da sobreposição;
2º - Dobramento da série inferior provocando o seu espessamento;
3º - Intrusão do filão cortando a série inferior;
4º - Erosão de todo o conjunto formando-se uma superfície aplanada;
5º - Deposição das camadas da série superior obedecendo ao princípio da sobreposição;
6º - Movimento da falha provocando o rejeito não só da sequência estratificada mas também do filão;
7º - Erosão responsável pela topografia actual.

A compreensão dos processos relacionados com os princípios anteriores levou à elaboração do **princípio das inclusões.**

Princípio das inclusões

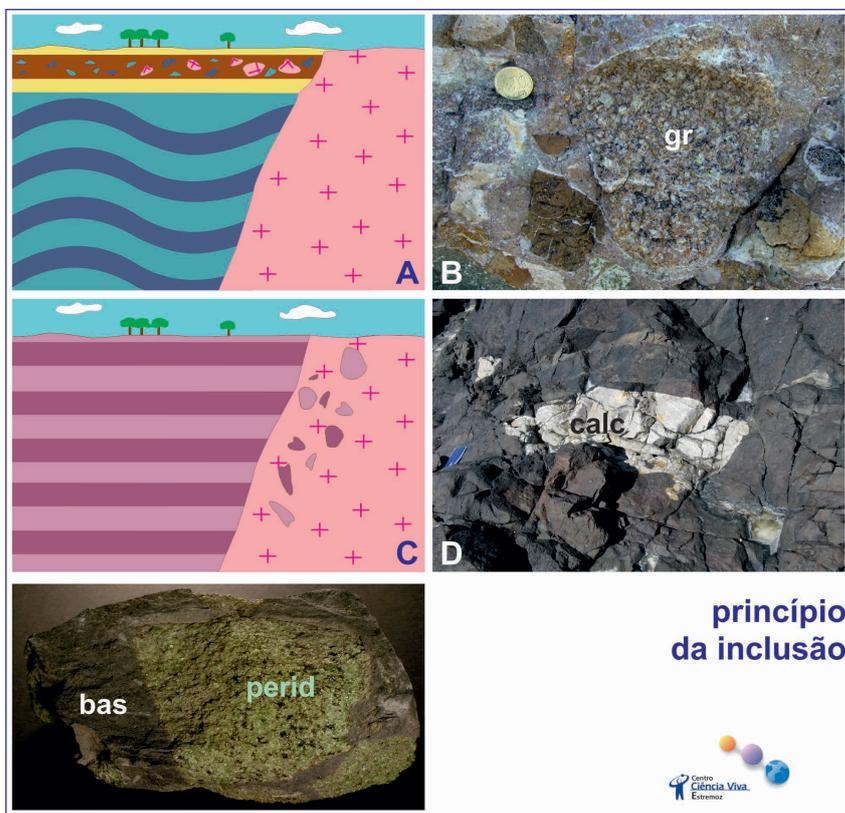
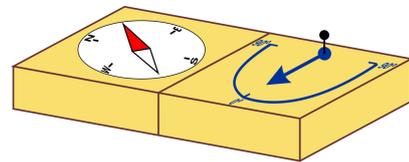
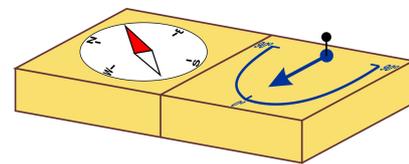
O princípio das inclusões pode ser aplicado a vários tipos de rochas e estabelece que sempre que se encontram fragmentos de uma rocha no seio de outra, a rocha que deu origem aos fragmentos é a mais antiga. A figura 2 ilustra a aplicação deste princípio a duas situações distintas.

No primeiro caso (fig. 2A) existem calhaus de material granítico incluídos num conglomerado. Isto indica-nos que

Fig. 2 - Aplicação do princípio das inclusões a duas situações envolvendo rochas intrusivas:
A - Inclusões de rochas ígneas nas rochas sedimentares encaixantes;
B - Clastos do granito de Sintra no conglomerado do Oligocénico da Praia das Maçãs (N da Serra de Sintra);
C - Encraves de rochas sedimentares no seio de uma rocha ígnea intrusiva;
D - Encraves de calcários do Jurássico no seio do gabro de Sines;
E - Encrave de peridotito num basalto de Lanzarote (Espanha).

cofinanciamento

em primeiro lugar houve a intrusão do granito a que se seguiu a sua erosão bem como a das rochas nas quais ele se tinha encaixado. Os fragmentos resultantes desta erosão, entre as quais se encontravam blocos de granito, sofreram um processo de transporte e deposição que originou os conglomerados com calhaus de granito, o que demonstra inequivocamente a anterioridade do granito. Esta situação encontra-se representada no flanco norte da do maciço Serra de Sintra. Com efeito, no conglomerado cenozóico grosseiro, que aflora entre a Praia Grande e a Praia das Maçãs, é possível encontrar (fig. 2B) clastos de granito, o que demonstra que o granito é anterior à deposição do conglomerado cenozóico.

No segundo exemplo de aplicação do princípio da inclusão (fig. 2C), existe igualmente uma intrusão granítica mas que neste caso possui no seu interior encraves de rochas sedimentares. Estas encraves são das rochas que existem na envolvente do maciço intrusivo. Isto indica que ao se dar a intrusão do magma a elevadas temperaturas houve blocos de rochas sedimentares que foram arrancados às formações encaixantes e que não tendo sido totalmente absorvidas pelo magma, vão no final aparecer como encraves de rochas sedimentares no seio do granito; como é evidente, o granito é mais recente que o encrave de rocha sedimentar mais recente que contém. Esta situação é frequente no maciço eruptivo gabróico de Sines, onde se encontram fragmentos de calcários do Jurássico no interior do gabro (fig. 2D), mostrando claramente que a rocha magmática é mais recente do que as rochas jurássicas existentes na sua vizinhança.

É este princípio que nos permite concluir que, quando encontramos encraves de peridotitos mantélicos no seio de basaltos das ilhas oceânicas (fig. 2E), a formação dos magmas básicos e sua subsequente cristalização, é mais recente do que as rochas mantélicas.

cofinanciamento

// WILLIAM SMITH (1769-1830); A IMPORTÂNCIA DOS FÓSSEIS

A aplicação generalizada dos princípios anteriores possibilitou que os naturalistas do século XVIII se dedicassem ativamente à descrição pormenorizada e interpretação das sucessões litológicas que iam encontrando, o que foi permitindo a construção de colunas litológicas cada vez mais completas. Destes estudos foi ficando claro o verdadeiro significado dos fósseis que se encontravam frequentemente incluídos nas camadas estudadas.

Longe ia o tempo em que Voltaire (1694-1778) considerava que os fósseis não eram mais do que as conchas abandonadas pelos peregrinos que se dirigiam a Santiago de Compostela. Tanto para Leonardo da Vinci (1452-1519), como para Nicolaus Steno os fósseis marinhos encontrados nas camadas que constituíam as montanhas indicavam claramente que estas camadas se tinham depositado num oceano.

Esta compreensão da verdadeira origem dos fósseis, levou a que as colunas litológicas começassem a ser complementadas de uma forma regular com as descrições dos fósseis associados às várias camadas que as compunham. Neste trabalho é de destacar a actuação de dois cientistas cujos contributos se vieram a revelar fundamentais e que se distinguiram, tanto pela quantidade como pela qualidade das observações realizadas: Georges Cuvier (1769-1832), que trabalhou essencialmente nas formações meso-cenozóicas em França e William Smith (1769-1839), cujos estudos incidiram especialmente nos terrenos paleozóicos de Inglaterra. É a este último que se ficou a dever a formulação de um outro princípio fundamental em geologia:

Princípio da sucessão de faunas

Os importantes levantamentos de campo de geologia realizados no século XVIII, evidenciaram que as associações de fósseis que se encontravam nas sequências de camadas não apareciam de um modo aleatório.

Qualquer que fosse o local estudado, as associações de fósseis sucediam-se sempre pela mesma ordem, levando ao reconhecimento de que havia fósseis que eram característicos de um determinado período de tempo. Esta constatação, expressa no princípio da sucessão de faunas, permite correlacionar sequências de estratos observados em diferentes regiões (fig. 3).

Este foi um contributo verdadeiramente decisivo para a compreensão da evolução geológica ao longo do tempo, pois muitas das correlações que eram feitas até então assentavam essencialmente em sucessões litológicas que eram muito menos abrangentes, devido à grande variabilidade lateral destas sequências.

cofinanciamento

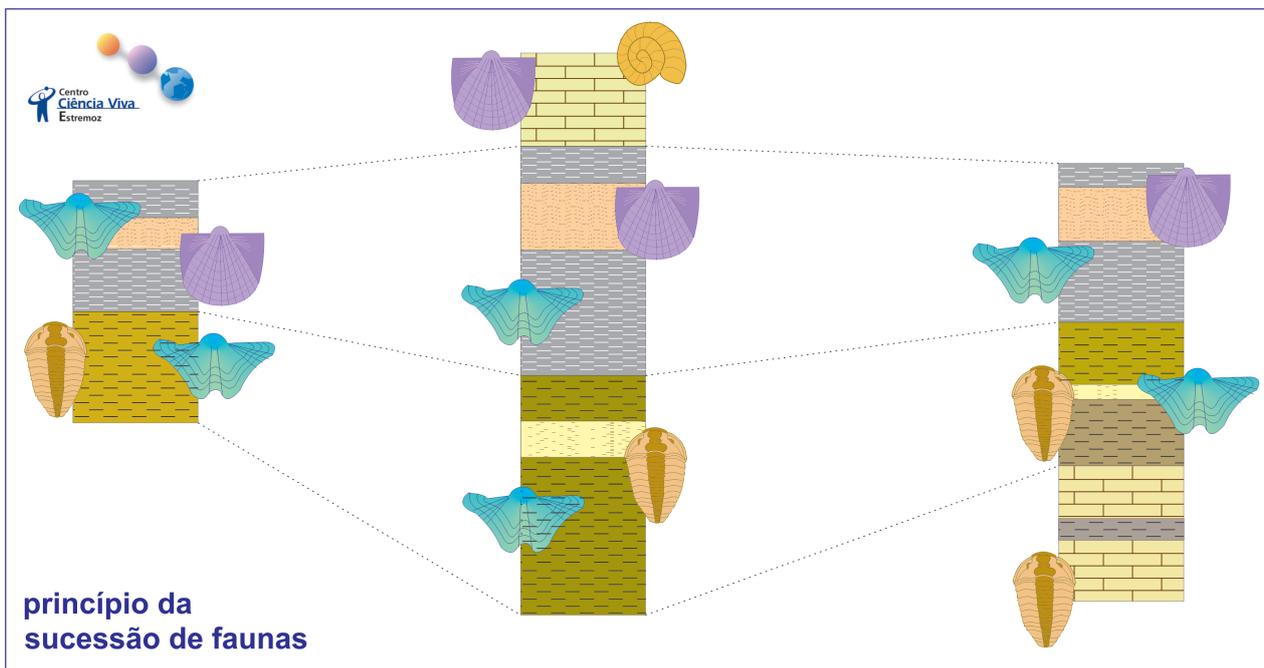
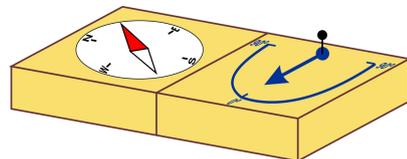



Fig. 3 - Princípio da sucessão de faunas enunciado por William Smith.

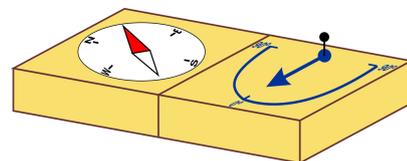
As colunas litoestratigráficas, contendo não só informações referentes às litologias, mas também às idades relativas entre as várias formações, generalizam-se.

// COLUNAS CRONOSESTRATIGRÁFICAS; SINTETIZANDO O TEMPO GEOLÓGICO

A aplicação dos princípios fundamentais da geologia às sequências regionais levou ao aparecimento de colunas litoestratigráficas parciais cada vez mais detalhadas. Cedo começou a ser evidente que era possível comparar e paralelizar estas colunas locais e estabelecer, a pouco e pouco, uma coluna geral. Iniciava-se então o processo das correlações, no qual se vão distinguir duas escolas principais. Enquanto os ingleses trabalharam essencialmente na estratigrafia dos terrenos então denominados primários (actualmente conhecidos por paleozóicos), a escola continental (formada principalmente por geólogos franceses e alemães) dedica-se principalmente aos terrenos considerados como secundários e terciários (actualmente designados mesozoicos e cenozóicos).

A intensa actividade dos geólogos do final do século XVIII e princípios do século XIX leva a que, em 1860 fosse já possível correlacionar os terrenos sedimentares de toda a Europa. Cerca de 20 anos depois, principalmente devido aos trabalhos de Charles Walcott (1850-1927), as formações geológicas da América eram integradas naquilo que se viria a designar por Escala dos Tempos Geológicos (fig. 4), a qual tem uma base essencialmente bioestratigráfica.

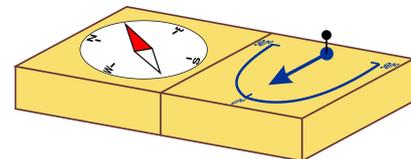
cofinanciamento

PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DA GEOLOGIA; PERFEITAMENTE ACTUAIS 3 SÉCULOS DEPOIS

É de salientar que as correlações realizadas, baseadas principalmente nas descrições litológicas e no conteúdo fossilífero das camadas, são por vezes possíveis de estabelecer ao longo de milhares de quilómetros. Um bom exemplo disto é o que se passa com a formação quartzítica do Ordovícico inferior (os denominados Quartzitos Armoricanos) que se estende não só pelo Centro e Norte de Portugal, onde origina alguns dos relevos mais importantes (e.g. Serras do Marão, de Valongo e do Buçaco) mas também, por exemplo, pela região da Bretanha (França). Este caso, bem como outros semelhantes, mostram claramente que as bacias de sedimentação nas quais os sedimentos são depositados podem ter extensões de milhares de quilómetros, ao longo dos quais as condições paleogeográficas podem ser bastante homogéneas.

É ainda de realçar que a escala dos tempos geológicos então definida apresentava apenas a relação temporal entre as várias unidades, pois não se dispunha então de qualquer método de datação absoluta. Não era por isso possível ter uma ideia, ainda que aproximada, não só da duração absoluta de cada uma das unidades temporais definidas, mas sequer de quando é que eles tinham ocorrido na história da Terra. Só a descoberta da radioactividade e da regularidade do processo de decaimento radioactivo nos princípios do século XX, veio permitir o desenvolvimento das datações absolutas dos materiais geológicos, que permitiria graduar a coluna anterior.

Eon	Era	sistema/ /período
FANEROZÓICO	CENOZÓICO	Quaternário
		Neogénico
		Paleogénico
	MESOZÓICO	Cretácico
		Jurássico
		Triásico
	PALEOZÓICO	Pérmico
		Carbonífero
		Devónico
		Silúrico
		Ordovícico
		Câmbrico
PRECÂMBRICO		Proterozóico
		Arcaico
		Hadaico

Fig. 4 - Versão simplificada da escala dos tempos geológicos.

cofinanciamento

// COLUNAS CRONOSESTRATIGRÁFICAS; SINTETIZANDO O TEMPO GEOLÓGICO

Ao elaborarem a escala dos tempos geológicos, os geólogos foram-se apercebendo que a cada camada estava associado um intervalo de tempo, que era o necessário para que o processo de deposição tivesse ocorrido; a escala dos tempos geológicos correspondia indubitavelmente a uma escala temporal. No entanto, já nessa altura era evidente que se tratava de um registo incompleto. Com efeito, duas camadas adjacentes só se apresentam individualizadas porque tinham sido depositadas em condições ambientais diferentes; o plano de estratificação entre elas representa assim um período de transição. Se dos períodos de deposição se tinham conservado evidências (as próprias camadas), o período de transição não estava registado.

Charles Darwin (1809-1882) realça a importância destes períodos de transição. Com efeito, ao notar que camadas muito próximas (ou mesmo adjacentes) apresentavam por vezes fósseis de espécies diferentes mas aparentadas, afirma que as descontinuidades entre as camadas poderão representar períodos de tempo importantes; esta aproximação garantia o tempo necessário para que possa ter havido evolução das espécies, que é um fenómeno necessariamente lento.

O reconhecimento da importância das descontinuidades levou à sua sistematização, tendo sido identificados quatro tipos principais (fig. 5).

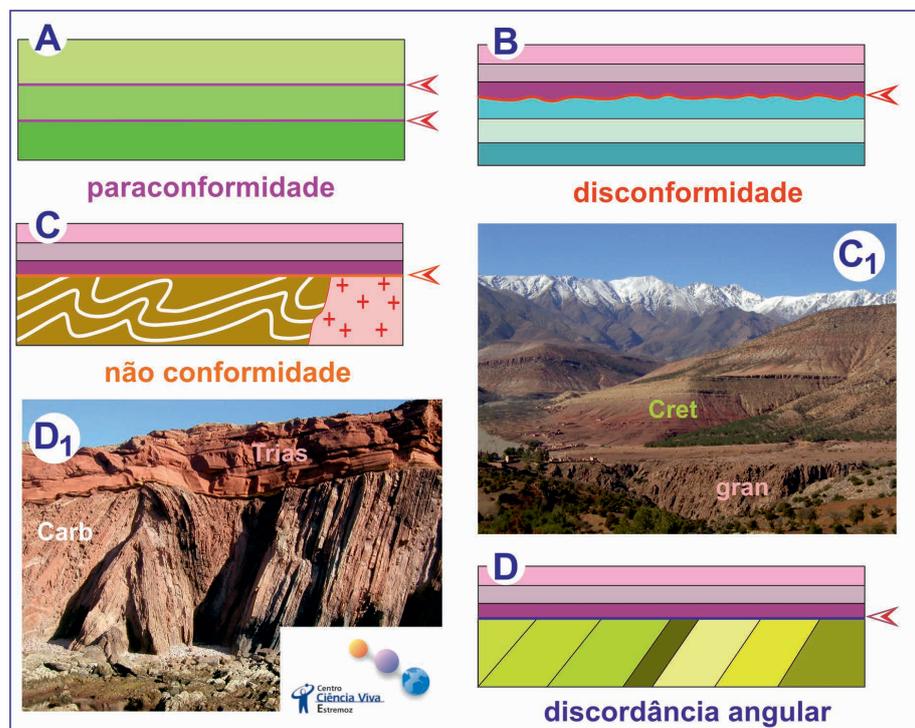
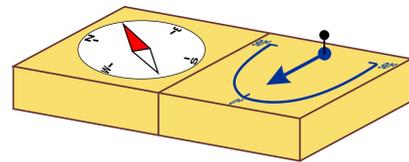



Fig. 5 - Principais tipos de descontinuidades:
A - Paraconformidade;
B - Disconformidade;
C - Não conformidade (C_1 - não conformidade no Alto Atlas, Marrocos);
D - Discordância angular (D_1 - discordância angular da Praia do Telheiro, zona de Sagres).

cofinanciamento

Paraconformidade (fig. 5A) - Representa apenas a superfície de estratificação que separa duas camadas adjacentes o que, como já foi referido, traduz um lapso de tempo durante o qual mudaram as condições de sedimentação.

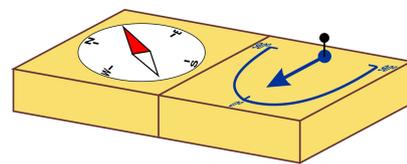
Disconformidade (fig. 5B) - Trata-se de uma superfície erosiva que separa duas séries sedimentares nas quais as camadas são sub-paralelas. Indica a existência de um episódio erosivo entre dois ciclos sedimentares, o que evidencia a ocorrência de um processo geológico importante entre ambos os processos de sedimentação.

Não conformidade (fig. 5C) - Corresponde à descontinuidade entre uma série sedimentar superior e o seu substrato formado por rochas metamórficas ou intrusivas. A superfície erosiva entre ambas as sequências tem aqui uma importância muito maior do que nas situações de disconformidades. Com efeito, tanto as rochas intrusivas como as metamórficas foram formadas em profundidade, onde as condições de pressão e de temperatura eram suficientemente elevadas para permitir a cristalização/recristalização dos materiais rochosos. Para que se forme uma não conformidade é necessário que posteriormente estas rochas tenham sido trazidas para a superfície onde sofrem erosão e que, posteriormente tenha havido condições para que ocorra a sedimentação da sequência superior.
De todo este processo não ficou registo de nada do longo período de tempo que decorreu entre a formação das rochas do substrato e as sedimentares suprajacentes. Na figura $5C_1$ observa-se um excelente exemplo de não conformidade no Alto Atlas ocidental (Marrocos), no qual camadas sub-horizontais do Cretácico se sobrepõem a granitos do Carbonífero.

Discordância Angular (fig. 5D) - Basicamente corresponde à descontinuidade existente entre duas séries sedimentares em que as camadas de cada sequência apresentam atitudes diferentes, em virtude da série inferior ter sido deformada antes da deposição da superior.
Junto à praia do Telheiro (região de Sagres) existe um magnífico exemplo de discordância angular na qual as camadas monoclinais do Triásico, se sobrepõem às camadas dobradas do Carbonífero através de uma superfície de erosão que trunca as camadas mais antigas (fig. $5D_1$).

A compreensão da sequência de acontecimentos (fig. 6) que originaram a discordância angular da praia do Telheiro (fig. 6A) permite ter uma ideia bastante precisa sobre a génese deste tipo de descontinuidades.

cofinanciamento

PRINCÍPIOS FUNDAMENTAIS DA GEOLOGIA; PERFEITAMENTE ACTUAIS 3 SÉCULOS DEPOIS

A sucessão de camadas do Carbonífero é formada por alternâncias de xistos e grauvaques numa sequência turbidítica típica da deposição na zona de talude continental, enquanto que o Triásico é detrítico (essencialmente arenitos e conglomerados) tendo-se depositado em ambiente próximo do litoral.

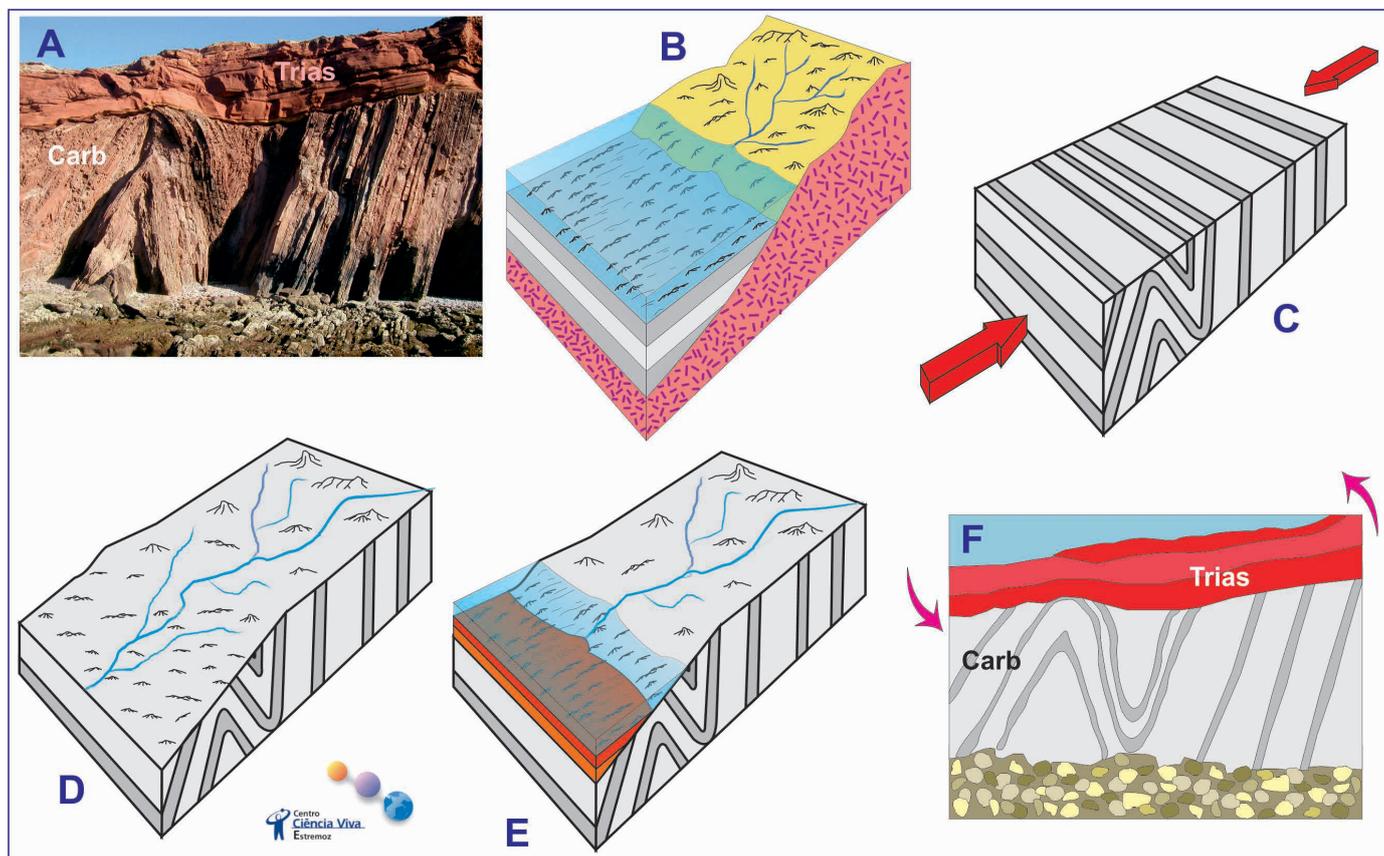
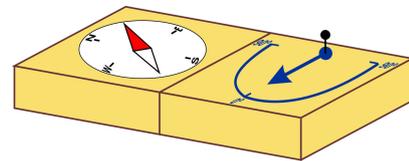



Fig. 6 - Génese da discordância angular da Praia do Telheiro (zona de Sagres): **A -** o afloramento; **B -** Sedimentação do Carbonífero; **C -** Deformação do Carbonífero; **D -** Erosão do Carbonífero; **E -** Sedimentação do Triásico; **F -** Ligeiro basculamento de toda a região.

- Num estádio inicial (fig. 6B) a erosão das rochas existentes num continente próximo arrastaram sedimentos que foram depositados durante o Carbonífero em ambiente oceânico de talude. Formou-se deste modo uma sequência sedimentar que após sofrer a diagénese originou leitos centimétricos a decimétricos de argilitos alternantes com leitos de idêntica espessura de arenitos impuros.

- A colisão dos continentes adjacentes ao oceano referido anteriormente levou ao seu fecho, provocando o intenso dobramento destas camadas (fig. 6C). Esta deformação provocou o espessamento da sequência sedimentar com a consequente passagem a um ambiente continental. Este espessamento induziu o metamorfismo de baixo grau (pois o espessamento não foi muito importante) dos materiais pré-existentes o que originou as litologias actuais (ardósias e grauvaques).

cofinanciamento

- Os agentes atmosféricos (e.g. chuva) ao actuarem sobre os relevos formados na etapa anterior provocaram a sua erosão levando a aflorarem camadas que outrora tinham estado em profundidade. Formou-se então uma extensa superfície de aplanação com a inevitável truncatura das camadas do Carbonífero (fig. 6D).

- Os processos de estiramento crustal associados às fases iniciais de abertura do oceano Atlântico durante o Triásico, induziram a formação de bacias marinhas propícias à ocorrência de sedimentação. Terá então ocorrido a deposição de sedimentos detríticos em ambiente próximo do litoral (fig. 6E).

- Novos esforços tectónicos, agora de pequena intensidade, associados à evolução do oceano Atlântico, bascularam ligeiramente todo o conjunto, o que originou a geometria actual (fig. 6F).

Rui Dias
Departamento de Geociências,
Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora
Centro Ciência Viva de Estremoz
Instituto de Ciências da Terra

Novembro de 2016

cofinanciamento